

VOLCAN DE SAN MIGUEL

La actividad del volcán de San Miguel se caracterizó por presentar niveles variables en su comportamiento, principalmente sismicidad. En marzo se registro un aumento de sismos asociados a variaciones en la presión interna de gases. En junio se registro un aumento significativo de sismos Volcano-Tectónicos (VT), en julio se incremento la vibración natural del edificio volcánico, reflejado en las Amplitudes de las señales Sísmicas en tiempo Real (RSAM) aumentando también el número de sismos asociados a presión interna ejercida por gases.

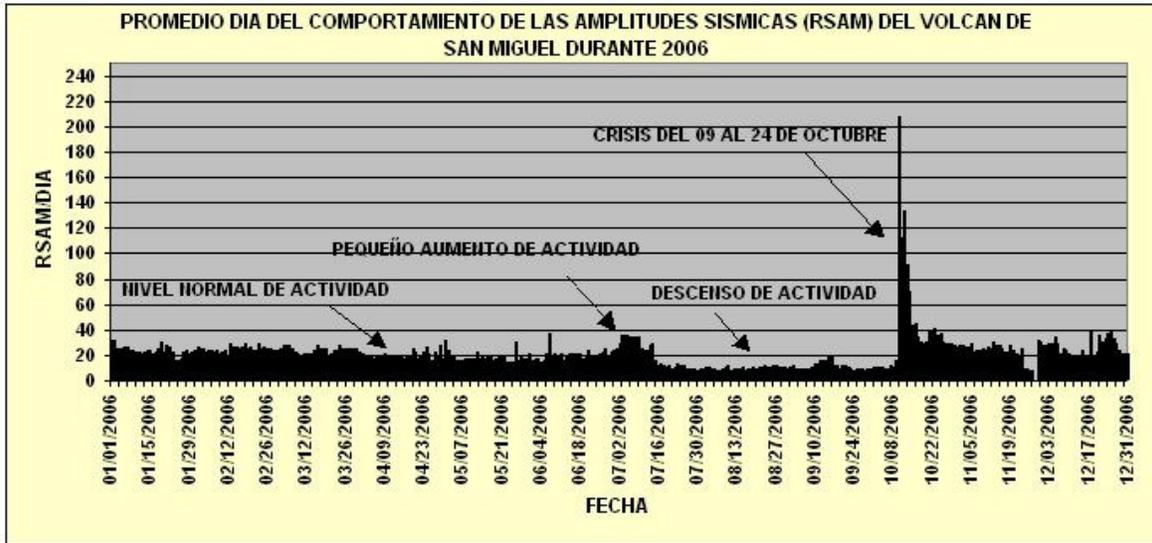
Después de los cambios anteriores, la sismicidad del volcán se redujo a niveles muy bajos en los meses de agosto y septiembre. Hasta el 08 de octubre la actividad del volcán se había considerado dentro de los límites de su línea base. Sin embargo, súbitamente, la noche del 09 entró en un estado delicado de actividad, presentando un nivel crítico de sismicidad (Gráfica 1).

El tamaño de las amplitudes del tremor bandeado y los sismos VT indicaba que el volcán se preparaba para una posible erupción freática o freatomagmática, lo cual no ocurrió. La fase crítica de la actividad del volcán se mantuvo delicada hasta el 24 de octubre. Al finalizar el mes la actividad del volcán mostró tendencia a la normalidad

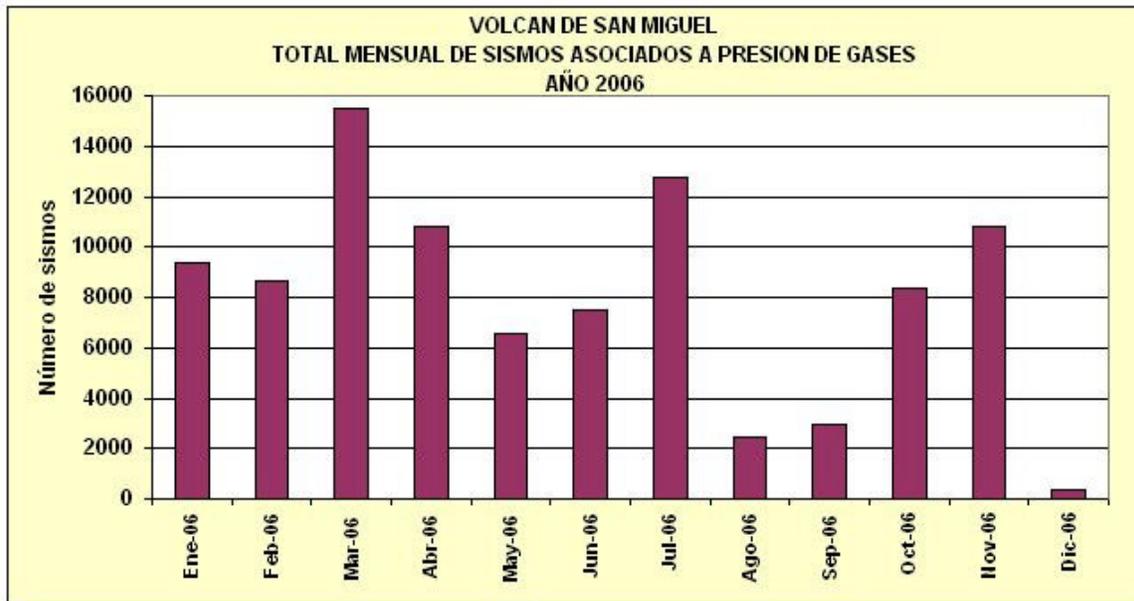
Lo mas complicado y relevante del periodo de crisis consistió en fluctuaciones temporales del tremor volcánico reflejado en la amplitud sísmica RSAM (Gráfica 2), apareciendo enjambres de sismos asociados a movimientos de fluidos dentro de los conductos (Gráfica 3) y enjambres de sismos (VT) relacionados con fracturamiento de rocas (Gráfica 4). La fase mas intensa de la actividad sísmica se presenta en los sismogramas y espectrogramas de las figuras de la 1 a la 6)



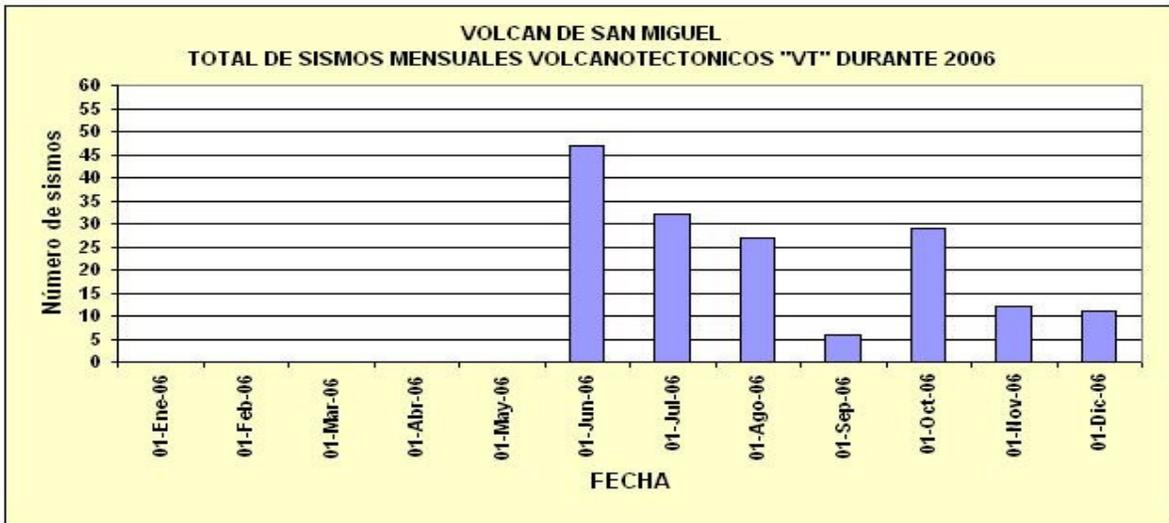
Gráfica 1. Aumento de actividad sísmica durante los días 10, 11, 12 y 13 de octubre



Gráfica 2. Cambios en las Amplitudes Sísmicas RSAM durante el año 2006. Es importante observar que la crisis de octubre ocurre después de un pequeño aumento de actividad ocurrido en Julio y un descenso significativo observado durante los meses de Agosto y Septiembre



Gráfica 3. Microsismicidad relacionada con pulsos de gases. En Marzo y Julio superó los 12, 000 sismos. En Agosto y Septiembre el volcán experimentó un severo relajamiento reflejado en la disminución de sismos debidos a la presión interna. En Octubre y Noviembre aumenta el número de esta clase de sismos, pero disminuye en Diciembre



Gráfica 4. Conteo de sismos no sentidos relacionados con fracturamiento de rocas del volcán a causa de las presiones internas de los gases.

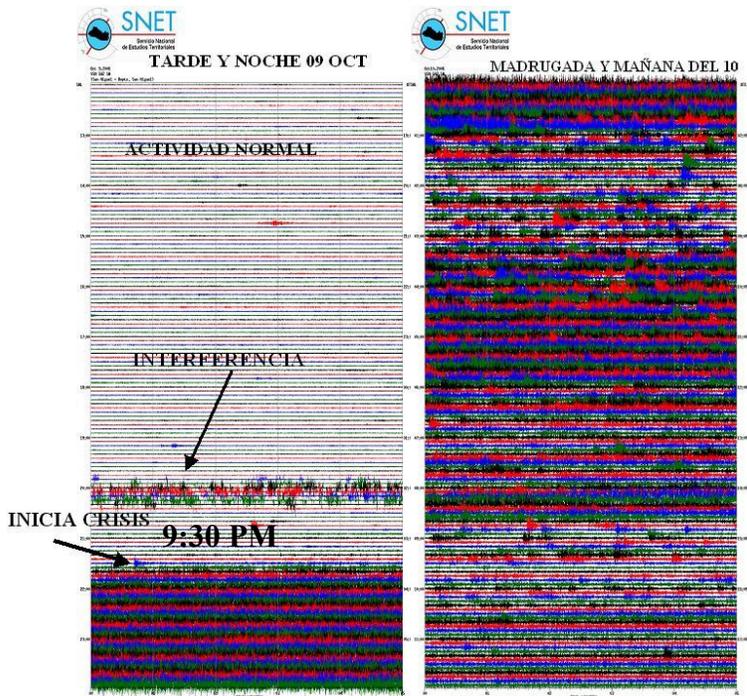


Figura 1. Registro de la vibración sísmica del volcán, durante la noche del 09 y madrugada del 10 de octubre 2006, con características de tremor bandedado asociado con actividad freática

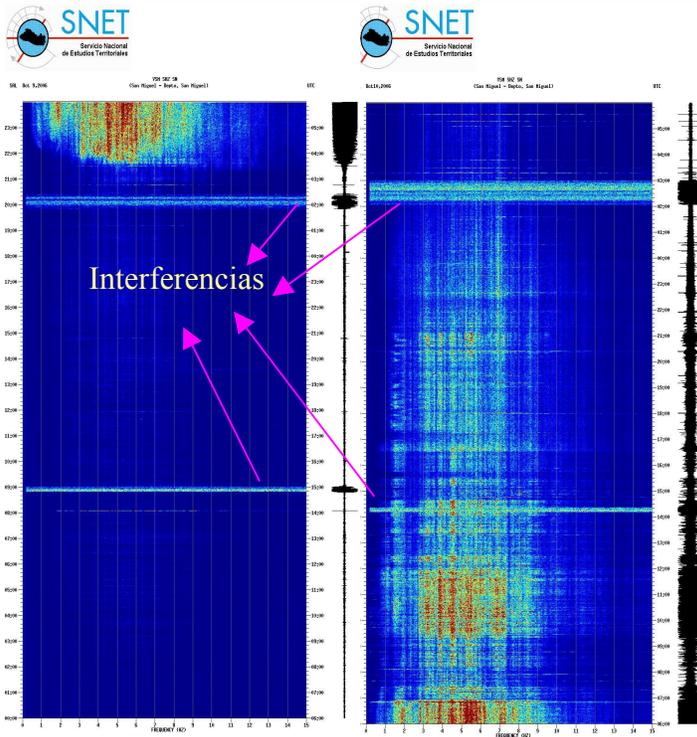


Figura 2. Bandas de frecuencias dominantes del tremor bandeado al inicio de la crisis la noche del 09 y madrugada del 10 de octubre 2006.

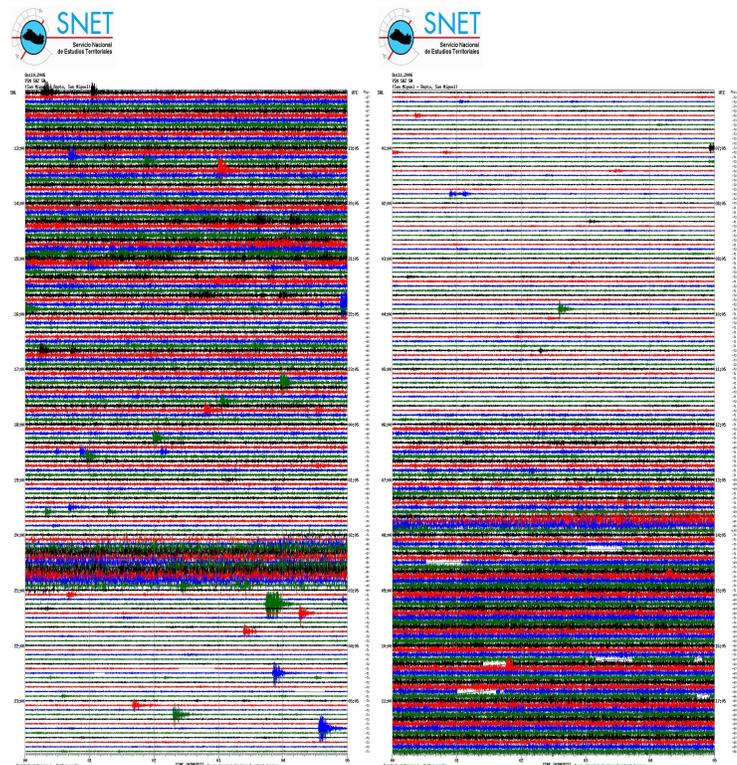


Figura 3. Bandas de tremor y sismos VT de tarde y noche día 10. A la derecha 12 horas de registro del día 11, nótese la intensidad del tremor durante la mañana día 11.

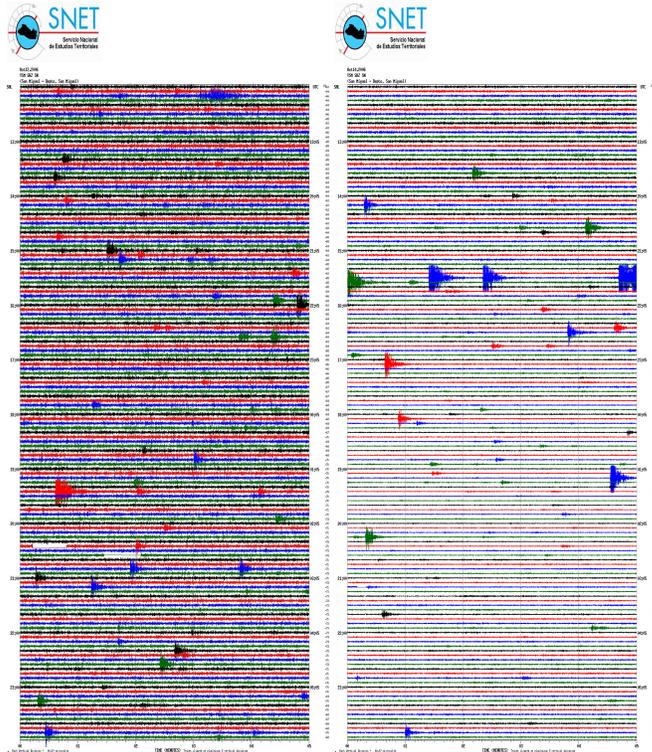


Figura 5. Sismograma de la tarde y noche día 12 con tremor de 3-7 HZ y sismos de fractura. A la derecha el registro sísmico de la tarde y noche día 14 mostrando tremor con clara tendencia a disminuir, predominando sismos de fractura de rocas.

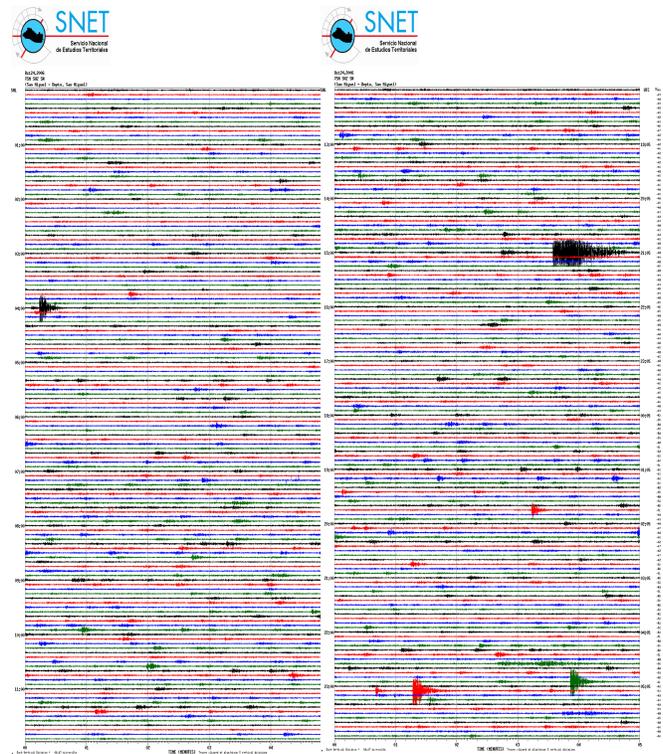
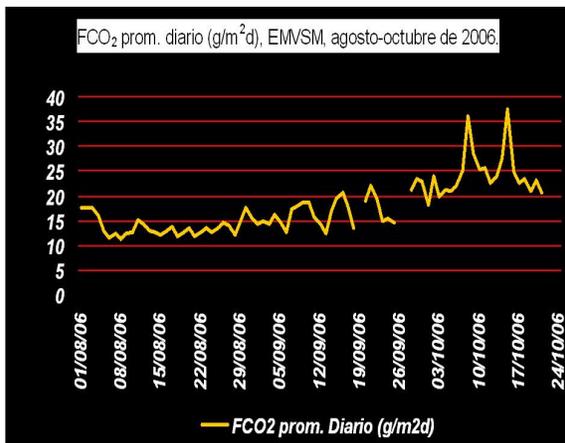


Figura 6. Registro sísmico del día 24 de Octubre. Predominan microsismos relacionados con pulsos de gases y esporádicos eventos de fractura de rocas. Los valores de RSAM fluctúan entre 20 y 30 unidades. La actividad sísmica alcanzada por el volcán esta dentro del nivel superior de su línea base y es considerada normal.

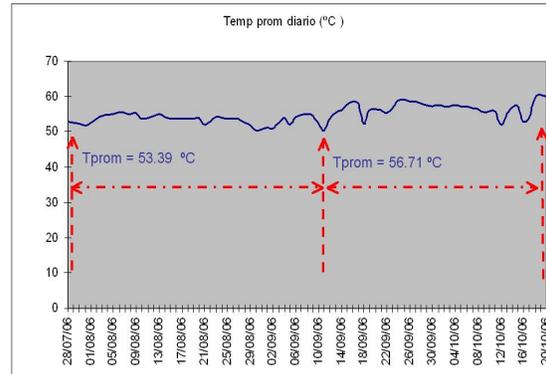
Llamó la atención el hecho que a pesar de la crisis sísmica desarrollada por el volcán, no se observaron mayores cambios en la estructura volcánica. No ocurrieron derrumbes, las grietas del cráter no experimentaron variaciones y la de pluma de gases no supero los 100 metros de altura.

Sin embargo, en vista de la crisis sísmica del volcán y con el objetivo de dar una alerta temprana para prevenir a la población ante la potencial amenaza del volcán, se procedió a fortalecer el monitoreo volcánico.

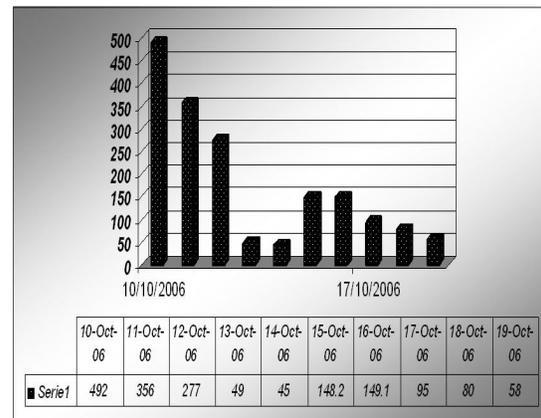
Para el monitoreo de dióxido de azufre (SO₂) se retiro de la zona del volcán de Santa Ana el SCAN DOAS y se instalo a la salida de San Jorge, a unos 7 Km. al Suroeste del cráter del San Miguel. También se instaló una estación sísmica telemétrica permanente, dos portátiles y una Cámara Web de vigilancia visual. Además se coordinó con el equipo de vulcanología de la UES para compartir información, ya que ellos también realizaron mediciones de (CO₂), ver en gráfica 5, temperatura del suelo (Gráfica 6) y dióxido de azufre (Gráfica 7).



Gráfica 5. Ligero incremento en el flujo de CO₂ registrado desde septiembre. Nótese que entre el 10 y el 17 de Octubre alcanza valores de 35 a 40 g/m² d.



Gráfica 6. Incremento en la temperatura del suelo del volcán observado desde septiembre; entre el 10 y el 17 de Octubre alcanza valores de 56.71 °C



Gráfica 7. Datos de Dióxido de Azufre (SO₂), reportados por el equipo de la UES.

A partir del monitoreo, la UES reporto pequeños cambios en la salida de gases y en la temperatura de las fumarolas. Lo anterior permitió vigilar muy de cerca el comportamiento del volcán y coordinar con Protección Civil, institución que reactivó los respectivos planes de prevención y decretó las alertas verde y amarilla fases 2.

Durante las inspecciones realizadas a la zona cratérica no se observaron mayores cambios, ya que solamente se observó una pequeña subsidencia de rocas dentro del cráter (Foto 2). Y en los períodos de mayor actividad, la pluma de vapor solamente

alcanzó unos 60 metros arriba del cráter, como evidencia de un leve aumento de emisión de gases a través de las fumarolas (Foto 3).



Foto 2. Obvia subsidencia de rocas dentro del cráter, observado el 31 de Octubre 2006.

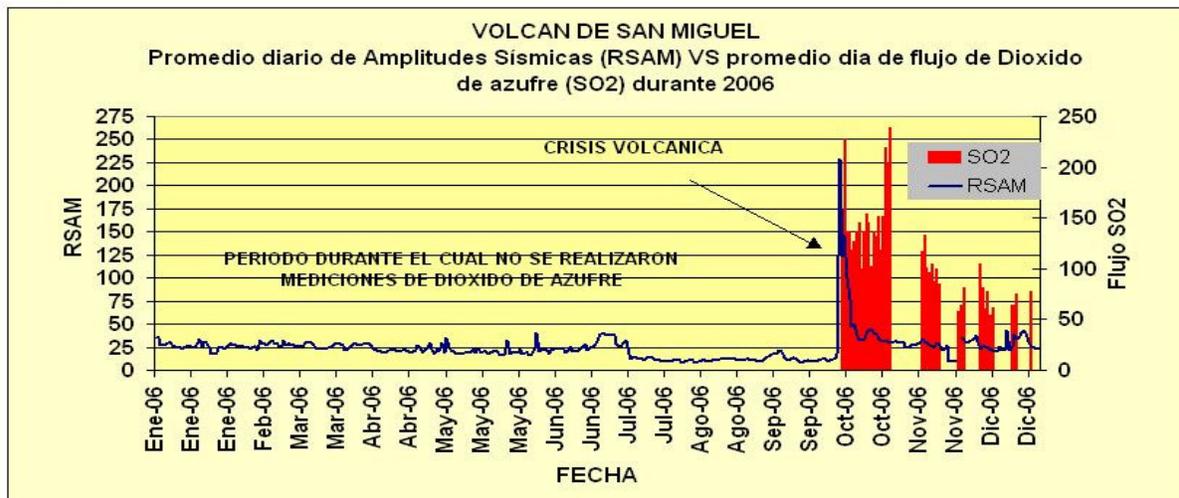
La presión de las fumarolas tornó más fuerte el sonido a olla de presión y el olor a azufre se considero leve a moderado

Con MINI DOAS la UES registro valores de dióxido de azufre (SO₂) en el orden



Foto 3. Pequeña pluma de gas observada el 31 de Octubre 2006.

de 150 y 500 toneladas por día, es decir, valores relativamente bajos. Por otro lado, SNET correlaciono sismicidad RSAM con datos de Dióxido de Azufre registrados con SCAN DOAS y encontró una clara correspondencia durante la crisis de Octubre (Gráfica 8). En Noviembre y Diciembre la actividad del volcán presento leves y periódicos cambios, en sismicidad y las fumarolas, pero se mantuvo estable



Gráfica 8. Datos de Sismicidad y Dióxido de Azufre (SO₂), reportados por el equipo de SNET. Obvio aumento de Amplitudes Sísmicas RSAM durante la crisis. Sin embargo los promedios diarios entre 150 y 240 t/d de Dióxido de Azufre son relativamente bajos.

Conclusion

Basados en el monitoreo realizado, se concluye que en Octubre de 2006, el volcán alcanzo un 50 % de probabilidad de erupción. La obstrucción del conducto por derrumbes reduce la liberación de presión interna, de manera que, una súbita descompresión podría generar una erupción, similar a la del volcán Santa Ana, al liberarse la presión de manera instantánea

VOLCAN DE SANTA ANA

Cuando la actividad del volcán de Santa Ana mostró tendencia a disminuir, los niveles de alerta interna implementados en Octubre de 2005 pasaron de la “**emergencia**”

a “**aviso**” el 23 de diciembre de 2005. En realidad de acuerdo a los procedimientos de emergencia la entrada a la fases AVISO significa que el potencial de erupción volcánica es alta, razón por lo que se da absoluta prioridad a las tareas de monitoreo. Bajo tales condiciones de actividad, el 21 de diciembre 2005, se realizo la primera inspección al cráter con el objetivo de evaluar In-situ, el estado de la laguna y los depósitos de la erupción. Lastimosamente, las condiciones climáticas no permitieron hacer buenas fotos, razón por lo que el 28 se realizo otra inspección. Se encontró la laguna con un color verde turquesa y con intensa evaporación y burbujeo (Foto 1). Una cobertura de hasta 2 metros de tefra se encontró distribuida en la planicie del cráter (Foto 2).

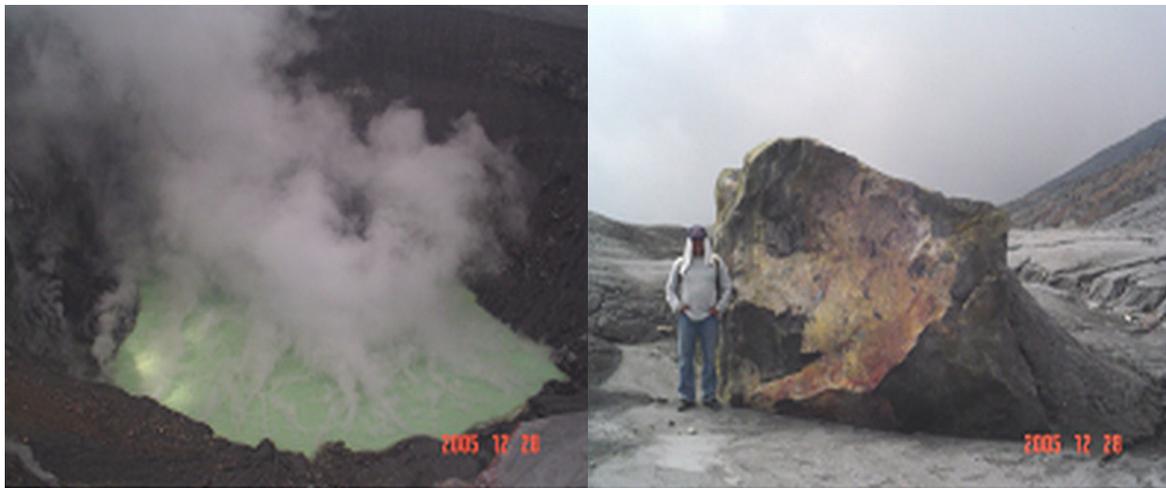


Foto 1 y 2 del 28 de Diciembre 2005: Derecha laguna color verde turquesa en proceso de evaporación. Izquierda Mega bloque balístico depositado sobre una capa de unos 2 metros de ceniza en la planicie cratérica

Periódicas inspecciones al cráter permitieron continuar observando la laguna (Foto 3 y 4) y documentar los

depósitos y cráteres de impacto dejados por la erupción (Foto 5 y 6).



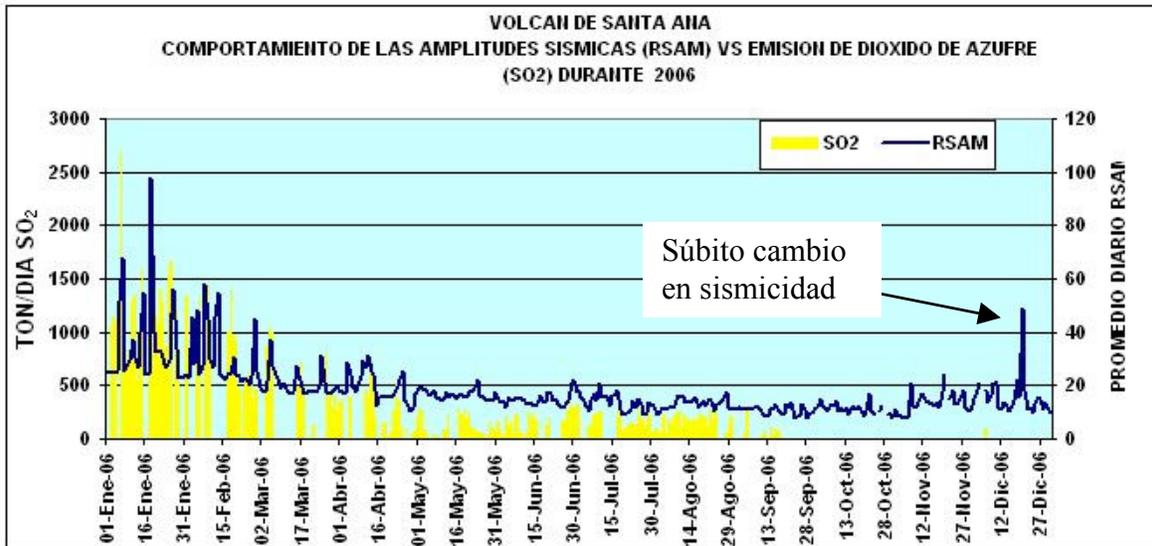
Foto 3 y 4 del 20 de Enero y 27 de Febrero 2006: Izquierda laguna color verde pistacho con intensa evaporación. Derecha formación de una Isla y las playas indican descenso de nivel. El color verde intenso del agua se debe a la saturación de elementos químicos.



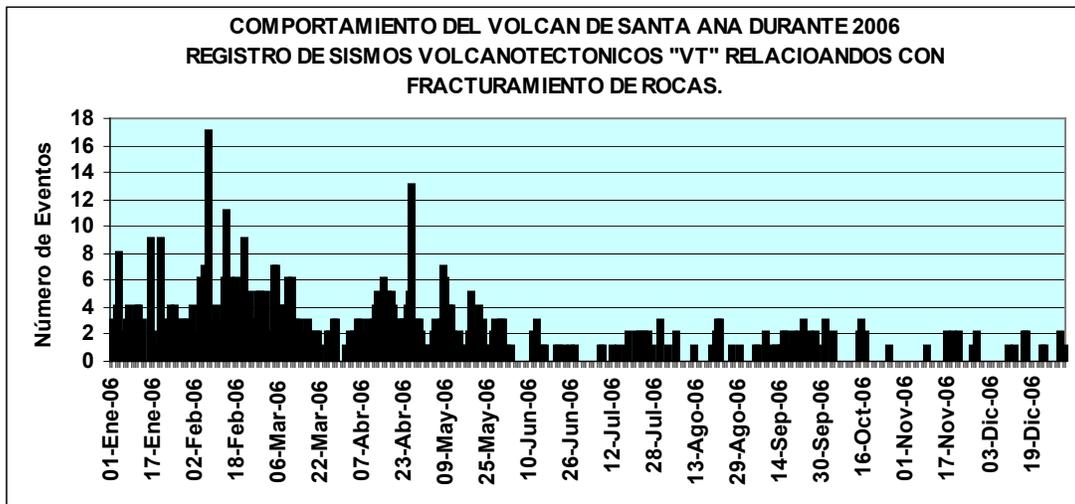
Foto 5 y 6. Bloque y cráter de impacto por la erupción de octubre 2005, localizados en la ladera sur del volcán. Izquierda Bloque balístico y su cráter de 3 m de diámetro. Derecha cráter de impacto de 5 m de diámetro formado por la caída de un bloque balístico.

En los primeros dos meses del año 2006, los valores promedio diario de RSAM y SO₂ continuaron con un comportamiento anómalo (Gráfica 1 RSAM - SO₂). Los sismos

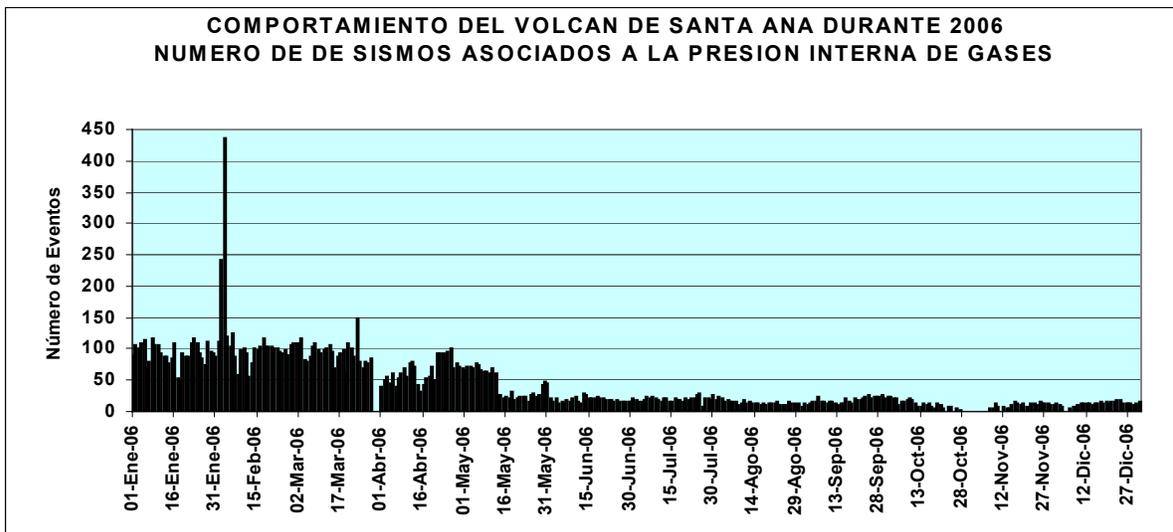
volcanotectónicos y sismos volcánicos continuaron registrándose en cantidades significativas (Gráficas 2 y 3).



Gráfica 1. En los primeros meses de 2006 la actividad sísmica y emisiones de dióxido de azufre del volcán continuaron con niveles altos. De Mayo a Noviembre la actividad descendió a niveles normales, incrementándose nuevamente en la tercera semana de Diciembre. De manera que finaliza el año con niveles muy bajos. Mediciones de SO₂ se realizaron hasta septiembre debido a que se retiró el DOAS por la crisis en octubre del volcán de San Miguel.



Gráfica 2. El número de sismos relacionados con rompimiento de rocas tendió a disminuir desde Mayo.



Gráfica 3. El número de sismos relacionados con presión interna de gases también disminuyó desde Mayo

En febrero se observó un incremento en la evaporación y burbujeo de la laguna, con descenso en su nivel (Foto 4). En Marzo

(Foto 7) y Abril (Foto 8), alcanzó niveles muy bajos, pero no se evaporó completamente, en Junio logró recuperarse (Foto 9).



Foto 7 y 8 del 23 de Marzo y 20 de Abril de 2006: Izquierda laguna mantiene su color verde intenso, su evaporación y punto de ebullición en el centro. Derecha laguna a punto de evaporarse y fumarolas adyacentes con mayor actividad. Todo apuntaba al desaparecimiento de la laguna, lo cual no ocurrió, ya que con las lluvias de mayo se recuperó..



Foto 9 del 30 de Junio de 2006: Laguna bastante recuperada en su nivel y forma, no evapora, apenas afloran rocas de la Isla. Nótese a la izquierda el campo fumarólico y el típico color verde pistacho del cuerpo de agua. .

De acuerdo a lo anterior y al hecho que los datos de RSAM y SO_2 presentaron valores altos, se interpretó que el sistema volcánico continuaba con un comportamiento anómalo e impredecible.

Sin embargo, a pesar de los cambios en la laguna, desde inicios de marzo, la actividad sísmica del volcán en términos de RSAM y emisiones de SO_2 mostraron clara tendencia a la baja (regresar a ver gráfica 1). En vista de lo anterior, a partir del 21 de abril de 2006 la alerta interna se cambió de “**aviso**” a “**preaviso y luego a vigilancia**”. Finalmente, poco a poco, la actividad del volcán mostró clara tendencia a descender desde Mayo a Noviembre 2006, ya que en Diciembre rápidamente se incrementaron las Amplitudes de las Señales Sísmicas RSAM, pero también así descendieron. En general, desde Mayo, la actividad del volcán de Santa Ana se mantuvo estable, es decir, con leve emisión de gases, baja actividad sísmica y

normales los parámetros hidrogeoquímicos de la laguna. Situación que se aprovechó para bajar a la laguna el 20 de Julio con apoyo del cuerpo de Bomberos para retomar el monitoreo hidrogeoquímico.

Discusión

La actividad del volcán de Santa Ana, durante 2006 presentó dos fases bien marcadas en el tiempo. Durante los primeros tres meses se caracterizó por una fuerte emisión de gases y vapores, que por el olor y color característico se habla de Dióxido de Azufre (SO_2), Ácido Sulphídrico (H_2S) y vapor de agua (H_2O). De hecho deben existir otros gases magmáticos como por ejemplo el Dióxido de Carbono (CO_2), Ácido Fluorhídrico (HF), Ácido Clorhídrico (HCL), etc. La actividad se caracterizó además, por presentar pequeños cambios físicos químicos

en la laguna, tales como: cambio en los sulfatos, cloruros, nivel del agua, color y acidez (pH).

Uno de los cambios mas interesantes que experimentó el volcán, fue el apareamiento de microsismos volcánicos de baja frecuencia, que poco a poco se incrementó en número hasta alcanzar un máximo de 5000 eventos durante los meses de julio, agosto y septiembre.

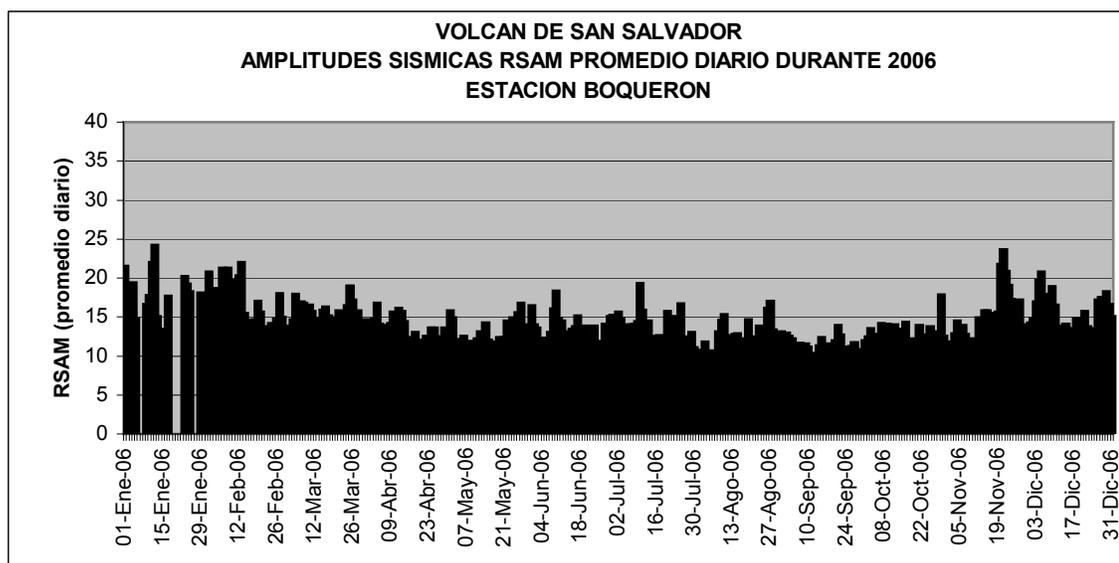
En lo que respecta al monitoreo geoquímico, es decir, el control de los parámetros dióxido de carbono, dióxido de azufre, acidez, sulfatos, cloruros, temperatura del agua y fumarolas, etc, no se observaron mayores cambios.

La evidencia de campo y la interpretación de los datos del monitoreo, incluyendo el sísmico sugiere que la posible causa del aumento de actividad del volcán correspondiente con el aumento en la emisión

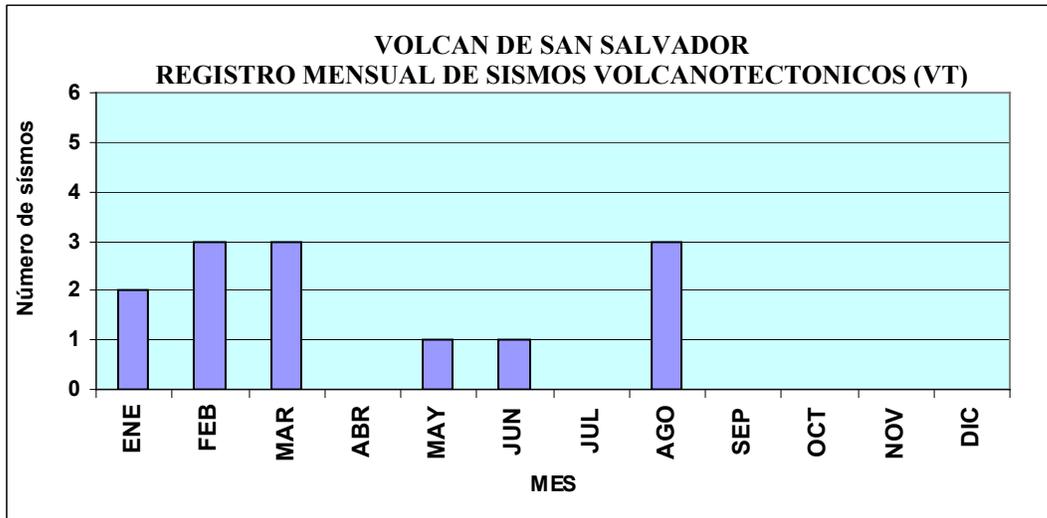
de gases y vapor de agua sometidos a presión se debe a la obstrucción de grietas y fumarolas. De acuerdo a lo anterior, se concluye que a finales del año, el volcán disminuye su actividad, posiblemente por la abertura de grietas y fumarolas a través de las cuales los fluidos hidrotermales logran escapar con mayor facilidad. Ya que por el momento la intranquilidad del volcán no puede relacionarse a una intrusión magmática.

Comportamiento del Volcán de San Salvador

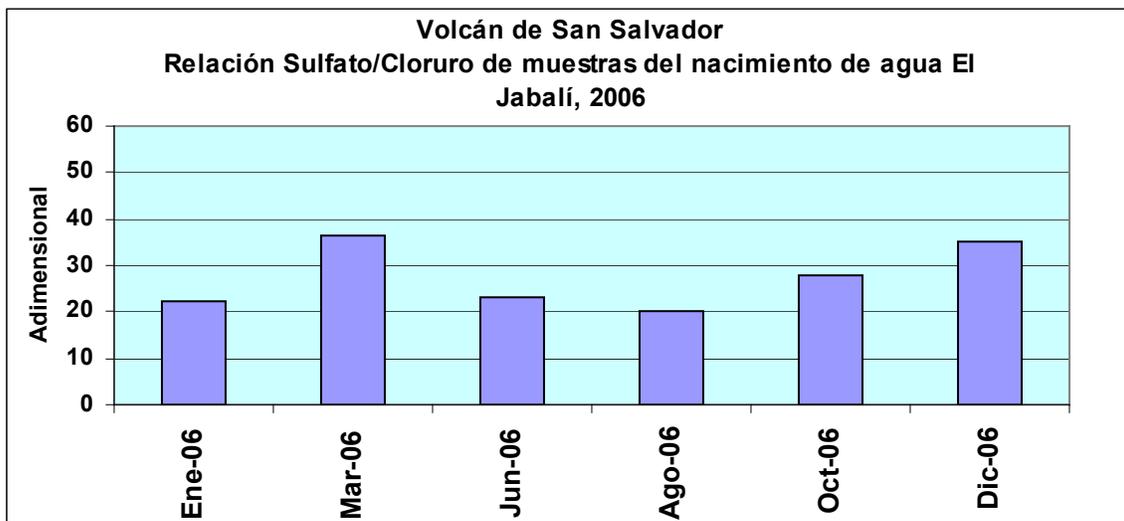
Durante 2006, este volcán presento un comportamiento normal. No se presentaron mayores cambios en la actividad sísmica (Gráfica 1 y 2), fumarólica y química de sus aguas subterráneas (Gráfica 3, 4 y 5).



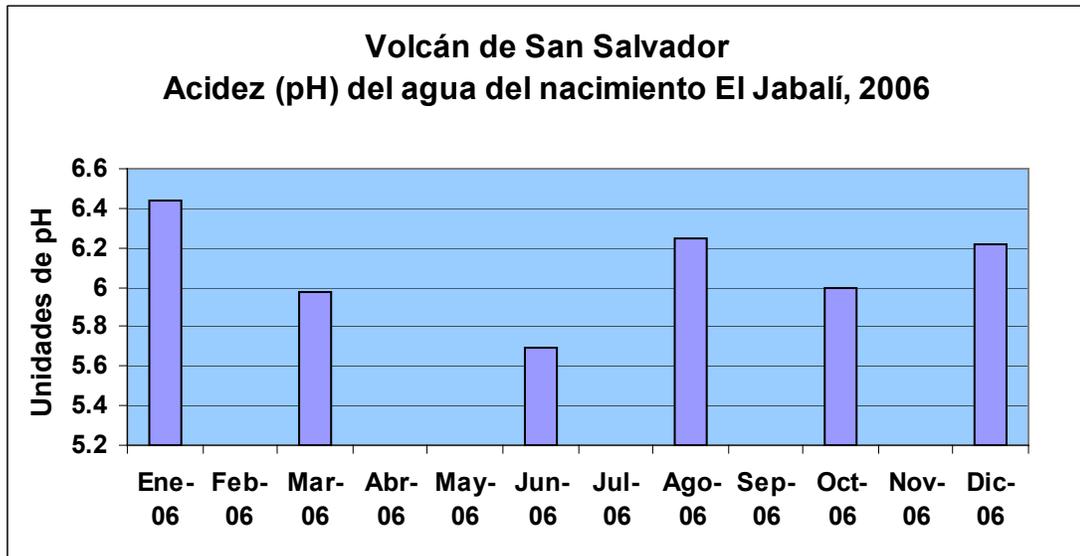
Gráfica 1. Las Amplitudes de las señales sísmicas del volcán de San Salvador fluctuaron entre 10 y 23 unidades RSAM. Nótese un ligero aumento en RSAM al inicio y fin del año, probablemente por efecto de los vientos, lo cual no se observa en la época lluviosa ..



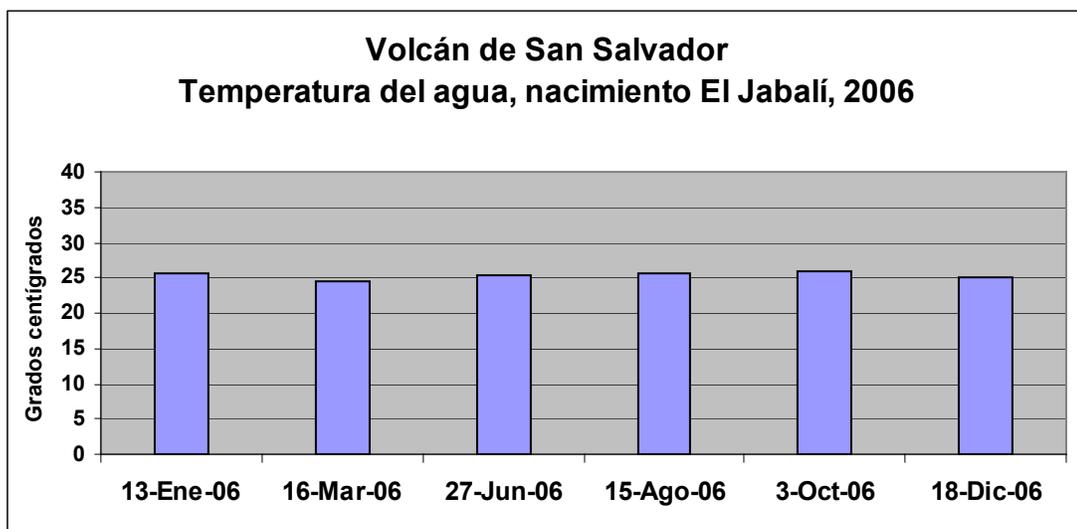
Grafica 2. Número de sismos asociados con movimiento o fracturamiento de fallas que afectan al volcán.



Gráfica 3. La relación Sulfato / Cloruro se mantuvo fluctuando entre 20 y 38 unidades



Gráfica 4. La acidez del agua fluctúa entre 5.7 y 6.4



Gráfica 5. La temperatura del agua se comporto bastante estable a lo largo del año, es decir alrededor de 25^a C.

Discusión

De acuerdo al monitoreo realizado durante los últimos 4 años, el volcán de San Salvador se encuentra en un estado de reposo, con baja actividad. Sin embargo, por los antecedentes del inicio de la erupción de 1917, es importante dar atención a los enjambres de temblores y sismos aislados de pequeña magnitud que con alguna periodicidad ocurren, ya que sismos de baja magnitud son señales de actividad que con el tiempo puede llegar a evolucionar hacia una reactivación del volcán..

Comportamiento del Volcán de Izalco

La actividad del volcán de Izalco básicamente es fumarólica y erosiva. Presenta fumarolas en su ladera norte, cráter y ladera occidental. Se trata de fumarolas débiles con emisión de vapor de agua. Es común observar rocas que se desprenden debido a las fuertes pendientes de sus laderas, lo cual es un peligro para los turistas que lo escalan.

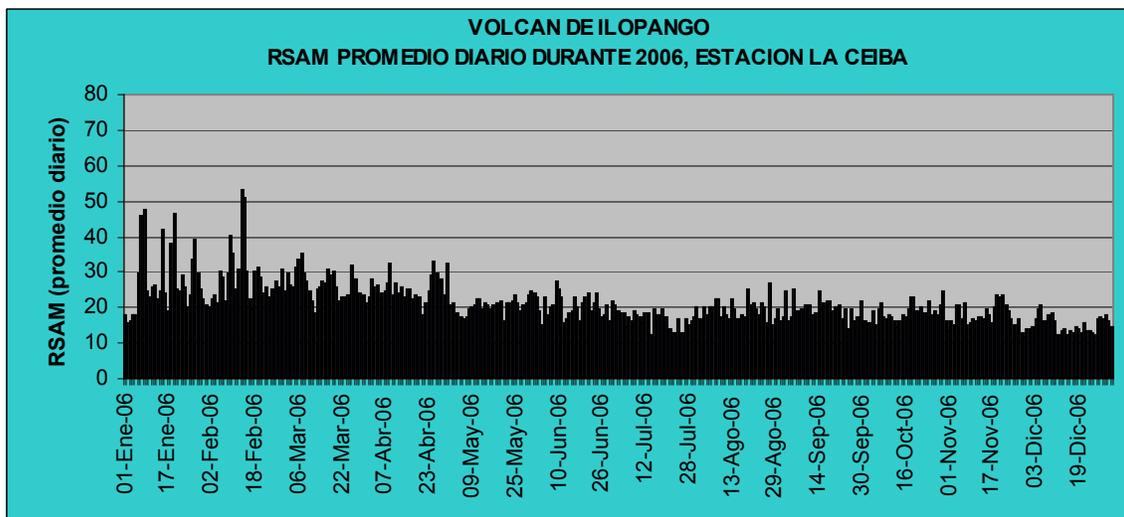
Durante 2006 se realizaron seis inspecciones al cráter, y se tomaron temperaturas de las fumarolas con valores máximos de 84 °C, muy similares a años anteriores. A consecuencia de su estado de reposo eruptivo, la ladera norte se viste de arbustos que ya alcanzan unos 5 metros de altura.

Comportamiento del Volcán de Ilopango

Ilopango es un Mega Volcán del tipo caldera, del cual se conocen potentes depósitos ácidos de al menos 9 erupciones altamente explosivas (Com. Verbal de M.Sc. Walter Hernández).

Su última erupción ocurrió en 1880. De acuerdo a los registros históricos la actividad del volcán fue precedida por más de 600 temblores, y a diferencia de las erupciones anteriores, esta fue del tipo efusivo con magma dacítico que formó las Islas Quemadas, actualmente aflorando dentro del lago.

La actividad de la caldera se vigila sísmicamente con 4 estaciones ubicadas en sus alrededores. La sismicidad del volcán durante 2006 se presenta en las gráficas 1 y 2.

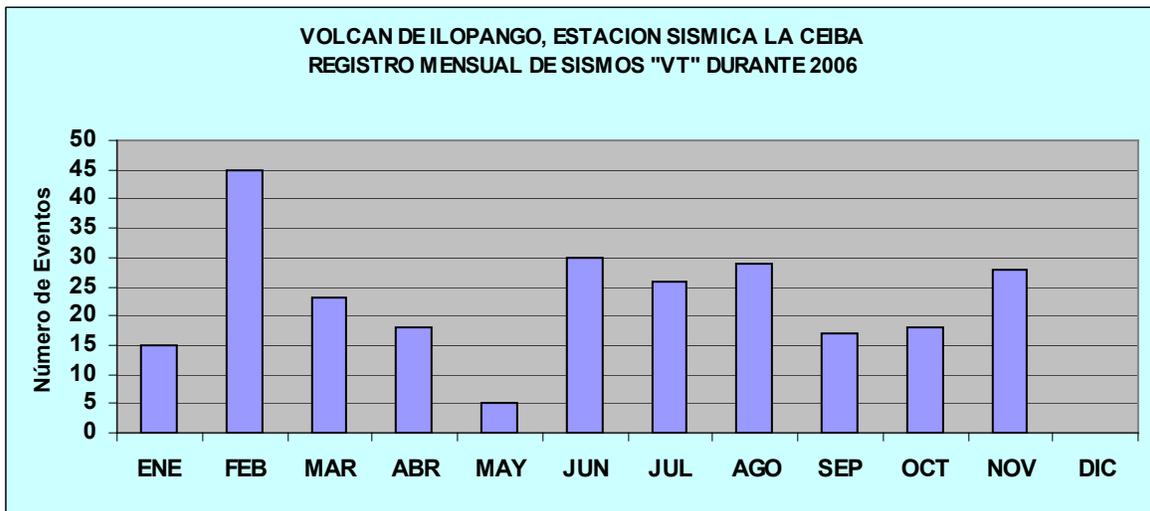


Gráfica 1. Los primeros meses del año la actividad sísmica del volcán experimentó un ligero aumento, el RSAM fluctuó entre 20 y 30 unidades, con picos de hasta 50 unidades. A partir de Mayo la actividad se normalizó alrededor de 20 unidades RSAM.

Se registraron 268 sismos, es decir, un promedio de 8 temblores mensuales, clasificados como Volcano-Tectónicos (VT) y asociados al reacomodo de fallas geológicas que afectan la zona de la caldera (Gráfica 2).

Comportamiento del Volcán de San Vicente

La vigilancia de este volcán se realiza a través de 1 estación sísmica e inspecciones



Gráfica 2. Sismos Volcano – Tectónicos (VT) asociados con el reacomodo de fallas geológicas que afectan la zona de la caldera de Ilopango

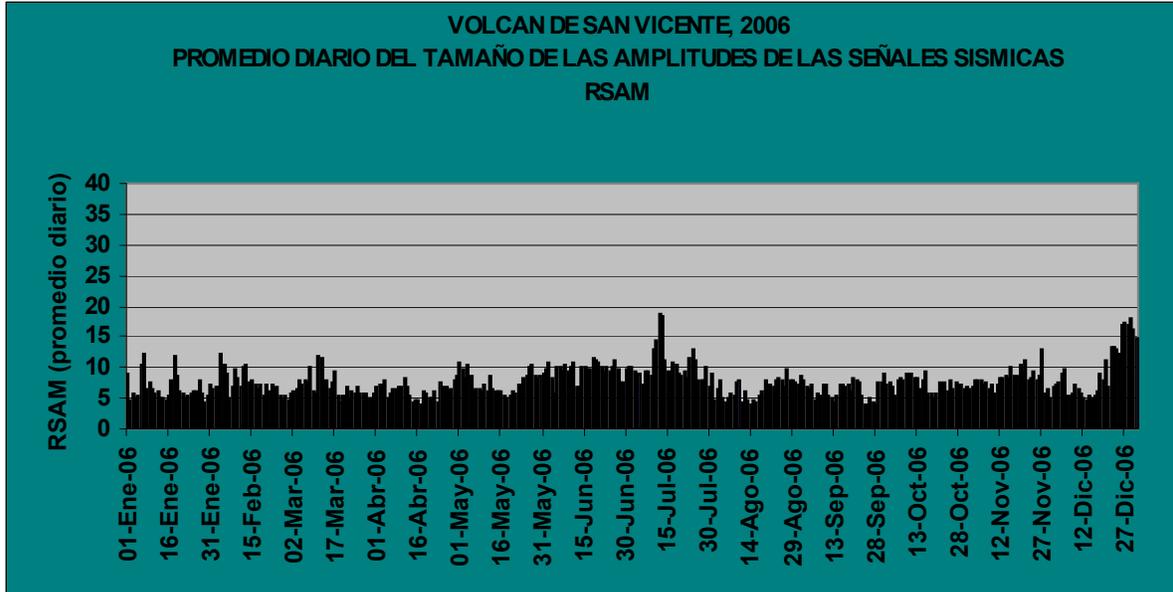
La mayoría de ellos con magnitudes menores a 2.5. Algunos sismos con magnitudes entre 2.5 y 3.5 fueron reportados sentidos por la población de la zona cercana.

Discusión

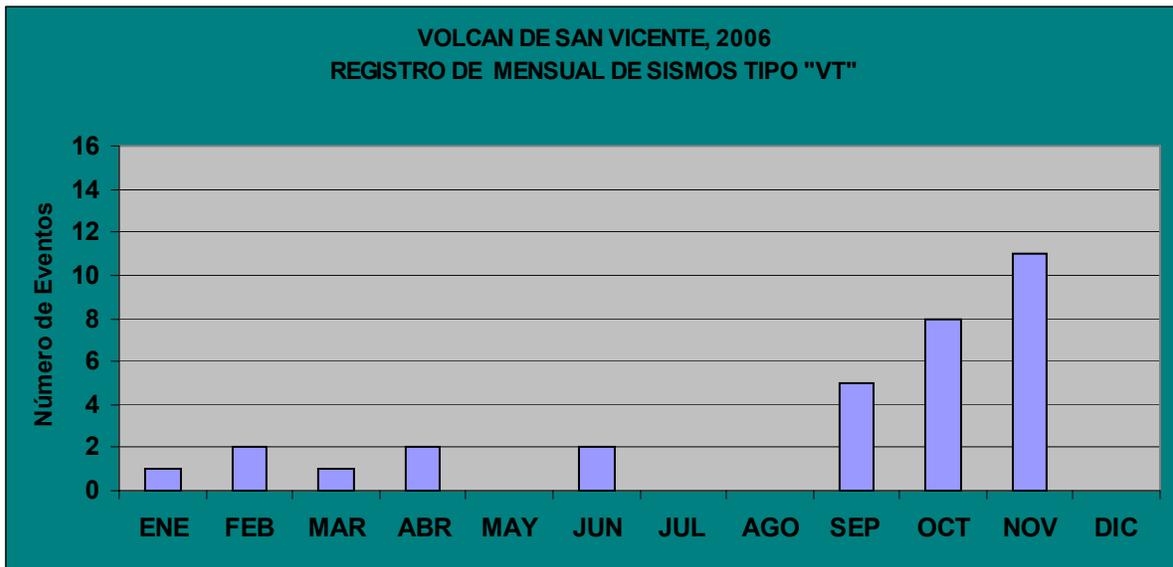
El hecho que la caldera de Ilopango haya hecho su última mega erupción del tipo Pliniana el año 430 DC (Dull, A, et al; 2001) y que además haya presentado actividad efusiva en 1880 (Goodyear, 1880), es un claro indicador que posee un sistema magmático potencialmente activo, lo cual es peligroso para el país. Razón por lo debemos integrar esfuerzos para fortalecer y mejorar el sistema de monitoreo.

visuales con toma de muestras de agua del campo fumarólico de Los Infiernillos, San Francisco Agua Agria, ciudad de Verapaz.

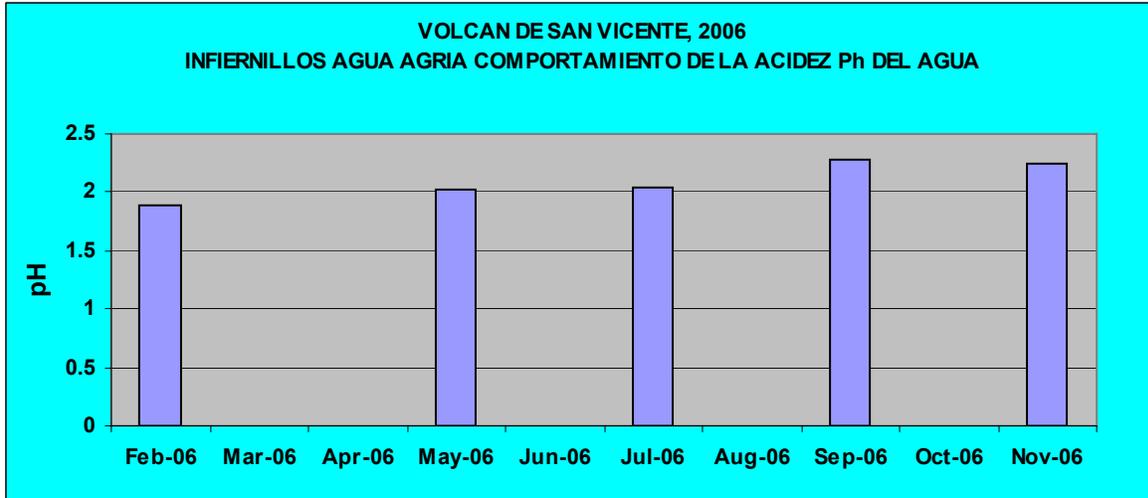
La sismicidad del volcán de San Vicente en términos del Tamaño de las Amplitudes de las Señales (RSAM) se presenta en la gráfica 1. La sismicidad del volcán en términos de temblores individuales mostró un comportamiento similar a los años anteriores, es decir, una media de 1 a 2 temblores por mes (Gráfica 2). En total se registraron 32 sismos en la zona, algunos de ellos fueron sentidos por la población entorno al volcán. Este tipo de temblores son clasificados como Volcano – Tectónicos (VT) por estar relacionados con la dinámica del sistema de fallas geológicas de la zona. El comportamiento hidrogeoquímico de las muestras de agua colectadas se presenta en las gráficas 3 y 4.



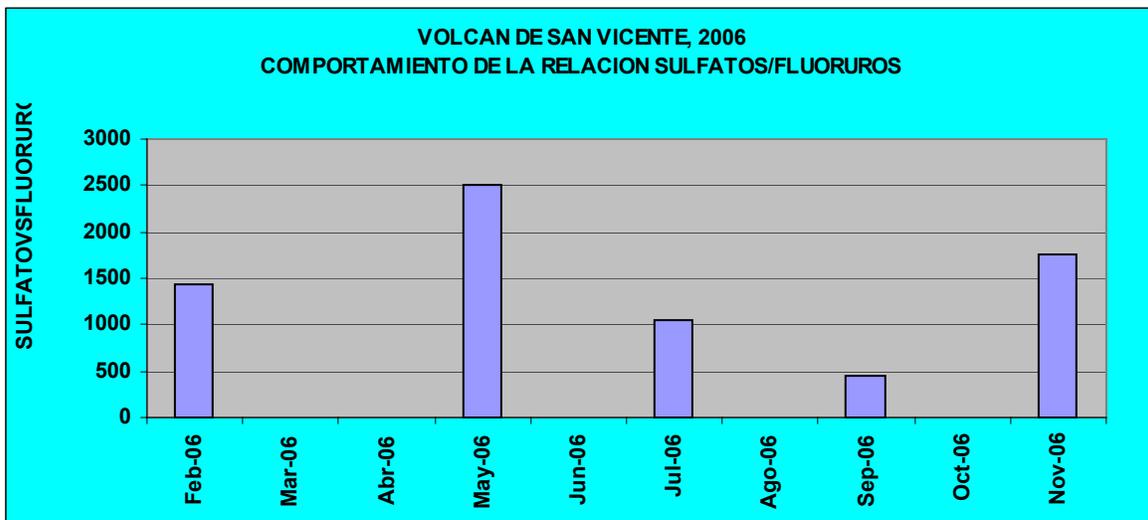
Gráfica 1. La actividad sísmica del volcán experimento un leve aumento de RSAM en Mayo, Junio, Julio y diciembre probablemente por interferencias externas. Los niveles de RSM fluctuando entre 5 y 10 unidades, con picos inferiores a 20, es considerado normal



Gráfica 2. Sismos Volcano – Tectónicos (VT) asociados con el reacomodo de fallas geológicas que afectan la zona del volcán



Grafica. 3 Comportamiento de pH en el área de Los Infernillos



Grafica 4: Relación Sulfatos – Fluoruros en las aguas de Los Infernillos, Volcán de San Vicente

Discusión

En lo que respecta a la sismicidad de la zona del volcán de San Vicente, la estación sísmica SVTE registró un total de 32 temblores. En su mayoría asociados con la **tectónica local** y no a la actividad propia del volcán.

La temperatura de los Infiernillos de Aguas Agrias se mantuvo estable, entre los 95 y 99 ° C. Los elementos químicos fluctuaron en función de la época del año. De manera que con base al análisis del monitoreo se concluye que el volcán se encuentra en proceso de reposo eruptivo.

Referencias

Dull, R., Southon, J., and Sheets, P., 2001., Volcanism, ecology and culture: a reassessment of the Volcan Ilopango TBJ eruption in the southern Maya realm

Goodyear, W. A., 1880., Earthquake and volcanic phenomena. December 1879 and January 1880 in the Republic of El Salvador.

Mann, P. C. 2003., Intracaldera geology of the Ilopango Caldera, El Salvador, C.A. Thesis for the requirement of the degree of Master of Science. McGill University, Montreal Quebec, Canada.